引文格式：邱晓磊. 激光雷达扫描在农村宅基地面积测量中的应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 90-93. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.11.021

激光雷达扫描在农村宅基地面积测量中的应用

邱晓磊[1]
（1. 河南省地球物理空间信息研究院，河南 郑州 450000）

摘　要：农村宅基地面积测量工作一直存在难度大、时期长、效率慢等问题。鉴于此，首先利用激光雷达扫描技术采集农村宅基地目标点云数据，并对点云数据进行滤波去噪和配准，提取点云数据特征，识别宅基地目标，划分界址点；然后结合界址点和网格面积、数量，计算农村宅基地面积。结果表明，根据农村宅基地面积精度要求，计算得到的农村宅基地面积限差和中误差均在要求范围内，说明激光雷达扫描技术在农村宅基地面积测量中具有很好的应用效果。

关键词：激光雷达扫描技术；点云数据处理；目标识别；农村宅基地；面积测量
中图分类号：P271　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0090-04

Application of LiDAR Scanning in Rural Homestead Area Measurement

QIU Xiaolei[1]
(1. Henan Institute of Geophysics and Spatial Information, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: There are some difficulties in the measurement of rural homestead such as long period, low effciency, etc. Therefore, we used LiDAR scanning technology to collect the point cloud data of rural homestead targets, filtered, denoised and registered the point cloud data to extract the cloud data characteristics of rural homestead sites, identified homestead targets, and divided boundary sites. Then, combining with the boundary point, grid area and quantity, we calculated the rural homestead area. The result shows that according to the accuracy requirements of rural homestead area, the tolerance and mean square error of calculated rural homestead area are within the accuracy requirements, indicating that LiDAR scanning technology has a good application effect in rural homestead area measurement.

Key words: LiDAR scanning technology, point cloud data processing, target identification, rural homestead, area measurement

地籍测量是国家民生建设中的重点工作之一，目的是获取详细地籍信息以方便开展国土资源管理工作，促进土地资源的合理规划和利用。地籍测量包括空间位置、界址范围、权属、面积等，其中面积测量是重点项目。随着城市化进程的加快，城市范围不断扩张，城市慢慢与周围的农村接轨，出现了很多城乡结合部[1]。城乡结合部管理一般较为混乱，为合理利用这部分农村土地资源，促进城乡合理发展，需对农村宅基地面积进行测量。农村宅基地面积测量方法主要分为3种：①手动测量，该方法准确度较高，但人力、物力成本较高，且若测量范围较大、效率较低；②通过全野外数字测图方法测量，通过电子全站仪在野外进行数字地形测量数据采集，再传输到室内计算机进行计算和测量，该方法存在点位精度不均匀、外业劳动强度大、作业效率较低、作业实施困难等问题；③通过倾斜摄影测量技术测量，从不同角度采集影像以保证影像的清晰度，再借助图像处理方法进行处理，识别目标区域，完成面积测量，该方法能获取地物完整、准确的纹理数据和定位信息，但冗余信息过多，若不能有效处理，则将导致目标识别困难，降低面积测量的准确性。针对上述问题，本文将激光雷达扫描技术应用于农村宅基地面积测量中，以期为地籍测量工作提供参考，提高宅基地面积测量的准确性。

1　农村宅基地面积测量

农村宅基地面积测量是地籍管理中的重要工作内容。明确农村宅基地面积能为城市规划提供可靠依据，提升城市发展能力[2]。基于上述背景，本文提出了一种基于激光雷达扫描技术的农村宅基地面积测量方法。

1.1　点云数据采集

农村宅基地面积测量的首要工作是数据采集。人工采集方式虽然准确性高，但效率低，面对大量农村

收稿日期：2022-02-24。
项目来源：河南省农村房屋不动产登记实施方案（豫不动产登记联办发[2018]1号）。
作者简介：邱晓磊（1977—），高级工程师，研究方向为测绘工程，E-mail：zkuuu_mm@126.com。

宅基地，测量工作需耗费很长时间[3]。本文采用激光雷达扫描技术采集农村宅基地目标的点云数据。激光雷达扫描技术是一种非接触式远程采集方法，由激光雷达、导航系统、接收器、定位系统、控制器和飞行载体等部分组成。首先将采集工作所需设备装载到飞行载体（无人机等）上组成扫描系统，无人机遵照指令飞行至目标点；再利用激光雷达发送脉冲信号，信号到达目标的瞬间会产生慢反射效应，利用扫描系统的接收器采集反射回来的信号[4]；最后结合时间差，即可计算得到目标点到与激光雷达扫描系统之间距离。

$$D=\frac{v\times\Delta t}{2} \tag{1}$$

式中，D 为农村宅基地与激光雷达扫描系统之间的距离；v 为脉冲信号在空气中的传播速度；Δt 为激光脉冲信号往返的时间差[5]。

在明确农村宅基地与激光雷达扫描系统之间的距离后，以扫描系统建立三维坐标系，再结合系统的纵横向扫描角度，得出农村宅基地的点云数据[6]。

$$\begin{cases}X=D\cos\theta\cos\vartheta\\Y=D\cos\theta\sin\vartheta\\Z=D\cos\theta\end{cases} \tag{2}$$

式中，X 、Y 、Z 为农村宅基地点云数据的三维坐标；θ 、ϑ 分别为激光雷达扫描系统的纵向、横向扫描角度。

在采集过程中，为保证数据的全面性，需要注意的问题为：

1）无人机平台需满足4点要求：①选择多旋翼无人机，以保证成像质量和超低空飞行；②无人机巡航速度控制在0~13 m/s可调节，以满足不同地形、地貌航摄要求；③无人机电池动力续航时间在30 min以上，保证单架次可完成0.2 km^{2}倾斜摄影；④无人机抗风性要求6级风保证飞行安全，4级风以下影像成果质量合格[7]。

2）激光点云数据质量对无人机飞行姿态要求较高，最好选择风力小于3级、气流稳定的天气进行采集作业[8]。

3）为使激光点云清晰反映房屋的主体和屋檐、阳台、檐廊等附属物，便于内业采集，在激光雷达工作频率一定的条件下，可通过降低飞行高度、速度来提高点云密度，设计点云密度为100点/m^2，优于常规作业[9]。

4）为保证房屋侧面有足够点云数据覆盖，航线设计采用井字形布设。

5）根据差分模式的不同，区别架设基站。通常基站架设在较开阔、平整稳定的无人机起飞场地，采用CORS模式，通过PC端链接基站WiFi，利用CORS-RTK技术获取基站准确坐标[10]。

点云数据采集完成后，基于**2000独立坐标系，借助软件坐标转换工具，对全部点云进行高斯3°带投影，生成标准点云数据，绘制点云图像[11]。

1.2　点云数据预处理

为能清楚辨认点云图像中的细小地物影像，需对点云图像进行预处理[12]。

1.2.1　点云滤波降噪

反射回来的脉冲信号中除所需的农村宅基地信号外，还包括地面上的树木、行人、车辆等地物信号，这类点云为有序点云噪声。由于本文只针对农村宅基地面积测量进行研究，因此需对有序点云去噪[13]。此外，由于受到采集设备本身影响，图像中还包含散乱点云噪声。本文采用不同方法对上述两种噪声点进行点云滤波降噪。

1）有序点云去噪。本文采用高斯滤波算法对有序点云进行去噪，公式为：

$$H_i^1=e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{2\sigma^2}} \tag{3}$$

式中，x、y、z 为原始点云数据的坐标；σ 为标准差。

2）散乱点云去噪。本文采用双边滤波算法对散乱点云进行去噪，公式为：

$$H_i^2=\psi\boldsymbol{n}_i+h_i \tag{4}$$

式中，h_i 为原始数据；ψ 为双边滤波权重因子；$\boldsymbol{n}_i$ 为单位法向量。

1.2.2　点云配准

点云配准是指将多站扫描点云拼接到同一个坐标系上[14]，具体步骤为：①选择待匹配的两个点云图像，记为点云 A 和 B；②在 A 中随机选取若干个数据点，组成点集，记为 $a_i\in A$；③在 B 中找出与 a_i 对应的数据点，组成对应最近点集，记为 $b_i\in B$；④使得 a_i 与 b_i 的绝对差值达到最小；⑤求取旋转矩阵 $\boldsymbol{C}$ 和平移矩阵 $\boldsymbol{L}$，使得 $\min Y_{(\boldsymbol{C},\boldsymbol{L})}=\dfrac{\sum_{i=1}^{m}\left\|a_i-(\boldsymbol{C}\times a_i+\boldsymbol{L})\right\|^2}{m}$，$m$ 为最邻近点对个数；⑥利用 $\boldsymbol{C}$ 和 $\boldsymbol{L}$ 对 a_i 进行处理，得到 a_i^1；⑦计算 a_i^1 与 b_i 之间的平均距离；⑧判断平均距离是否小于设定的阈值，若小于则获得对应点集，否则重复上述操作；⑨通过最小二乘法迭代求解待匹配点云的最优配准参数，完成点云配准。

1.3　农村宅基地目标识别

基于已预处理的图像，识别点云图像中的目标，划分农村宅基地界址[15]，具体分为特征提取和目标识别两个部分。

1）特征提取。点云数据完整地表达了目标的外

形属性，具有一定的几何属性。基于此，本文进行农村宅基地特征提取，具体流程见图1[16]。

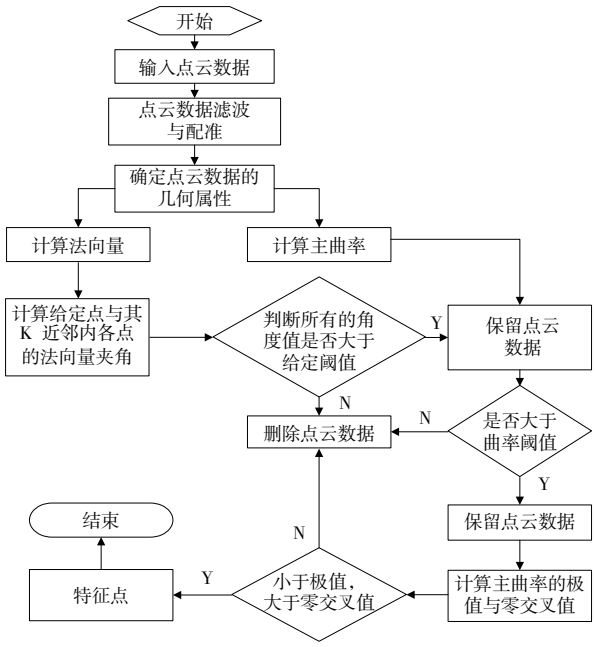


图1 点云数据特征提取流程图

2）目标识别。基于提取的特征点，通过与模型特征库中的特征进行匹配识别目标[17]。特征匹配算法公式为：

$$d(R,Q)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(r_i-q_i)^2} \tag{5}$$

式中，$d(R,Q)$为点云图像中特征点与模型特征库中特征点之间的距离；R为点云图像特征点集合；Q为模型特征库特征点集合；r_i为R中第i个特征点；q_i为Q中第i个特征点；n为特征点数量。

在模型库中寻找到与Q最近和次近的两个特征，然后计算这两个特征之间的比值，当该比值小于1时，认为二者匹配。根据该匹配关系识别出对应的目标类型[18]，再利用CASS软件划分目标区界线，生成界址点，确定界址点坐标。

1.4 农村宅基地面积测量

基于目标识别结果，按照界址划分范围，测量农村宅基地面积。首先需对目标区域内的点云数据进行规则网格化（图2）[19]；再按照式（6）测量农村宅基地面积。

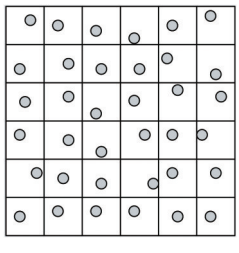


图2 点云数据规则网格化

$$P=\frac{G\times m\times K\sum_{i=1}^{n}(x_i+y_i)^2}{2} \tag{6}$$

式中，x_i、y_i为宅基地第i个界址点坐标；n为界址点数量；G为规则网格单位面积；m为量测区域内规则网格数量；K为比例尺[20]。

基于上述流程，即可完成整个农村宅基地面积测量工作。

2 实例应用测试

为测试基于激光雷达扫描技术的测量方法在农村宅基地面积测量中的应用效果，以某地区为例，进行算例分析与测试。以河南省最东部的某地区为例（图3），进行应用测试。该地区围绕城区，有很多农村。随着城市的建设与发展，城市用地逐渐向外扩展。为合理规划农村用地，实现城乡和谐发展，需对周围农村宅基地面积进行重新测量。



图3 研究区范围

本文采用两台GNSS接收机南方银河6、飞马无人机D200、6台D-OP300航摄仪、6台D-LiDAR200激光雷达、南方手持测距仪、HpT795绘图仪、Hp7500扫描仪、Hpm1005打印机、西数（2T）存储设备、两台联想计算机、两台戴尔T3600图形工作站、CASS9.1地形图编辑软件、两个无人机管家点云处理软件、两个South LiDAR点云采集软件、两个ArcGIS数据入库软件、3辆宝来汽车等软硬件搭建应用测试系统，用于点云数据采集、处理与分析。其中飞马无人机D200的具体参数见表1。

表1 D200飞马无人机工作参数

名称	参数
巡航速度	13.5 m/s
差分模式	PPK/RTK及其融合作业模式
续航时间	48 min
测控半径	5 km
悬停精度RTK	水平1 cm+1 ppm；垂直2 cm+1 ppm
起飞重量	8.5 kg
任务响应时间	展开≤10 min，撤收≤15 min

按照搭建的应用测试系统，采集研究区点云数据，并对点云数据进行预处理，借助绘图仪和CASS9.1软件绘制农村宅基地激光雷达扫描点云图像（图4）；然后识别点云图像中的农村宅基地目标，并划分界址点（图5）。



图4　农村宅基地激光雷达扫描点云图像

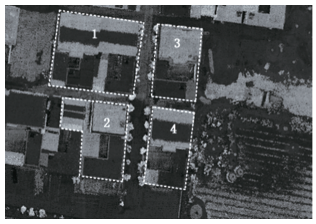


图5　农村宅基地目标识别

参考国土资发[2015]103号《不动产登记数据库标准（试行）》，农村宅基地面积测算的精度要求为限差≤5 m^2，中误差≤3 m^2。计算图5中界址点内4块宅基地面积，并统计其限差和中误差，结果见表2，可以看出，计算得到的农村宅基地面积的限差和中误差均在精度要求范围内，说明激光雷达扫描技术在农村宅基地面积测量中具有很好的应用效果，达到了研究目标。

表2　精度计算结果/m^2

项目	宅基地1	宅基地2	宅基地3	宅基地4
1次宅基地测量面积	226.20	200.56	136.33	127.52
2次宅基地测量面积	224.21	203.21	134.20	130.24
3次宅基地测量面积	228.30	205.73	137.85	131.52
宅基地实际面积	225.87	202.14	135.87	128.74
限差	2.43	3.59	1.68	2.78
中误差	1.44	2.35	1.22	1.89

3　结　语

农村宅基地面积测量工作是一次重大的地籍调查活动，对于促进社会和谐、保障经济社会发展具有非凡意义。本文将激光雷达扫描技术应用于农村宅基地面积测量，实现了批量农村宅基地面积测量，并证明了该技术的应用效果，测量准确度较高。然而，在测量时还应提高工作的严谨性，如在飞机的空中飞行阶段，应当密切监控，随时转换应急干预；做好仪器设备的防盗、防雷击、防冻、防晒、防水等工作。外业扫描结束后，作业部门检查员应以外业实测获得的检查点或测区已有的满足精度标准的底图为基准，对激光点云数据进行精度检查。

参考文献

[1]　任育锋,王玉庭,李哲敏,等. 中国农村宅基地资源时空分布及利用特征[J]. 中国农业大学学报,2020,25(10):175-186

[2]　陶沛宏,李琪,杨帆,等. 区域差异视角下农村宅基地规模与构成特征:以黑龙江省四大区域为例[J]. 中国农业资源与区划,2021,42(1):186-196

[3]　贾会会,师海,王虎,等. 基于激光雷达监测的矿山开采诱发地表运移规律分析[J]. 科学技术与工程,2021,21(27):11 578-11 586

[4]　王灿,孔斌,杨静,等. 基于三维激光雷达的道路边界提取和障碍物检测算法[J]. 模式识别与人工智能,2020,33(4):353-362

[5]　杜军,程娅,张晓晓,等. 提高相位调制多普勒激光雷达频移测量范围的方法[J]. 光学学报,2020,40(6):171-178

[6]　张力元,张法星,蔡爱玲,等. 三维激光雷达扫描技术在河流模拟中的应用[J]. 水电能源科学,2020,38(8):121-124

[7]　郭明,闫冰男,周腾飞,等. 激光雷达技术在应县木塔形变分析中的应用[J]. 建筑科学与工程学报,2020,37(2):109-117

[8]　谭毅滢,魏拾其,宋健洪,等. 地基LiDAR技术在活动断层三维场景建模中的关键技术与应用[J]. 中山大学学报(自然科学版),2021,60(3):78-87

[9]　范伟伟,刘浩然,徐永胜,等. 基于地基激光雷达和手持式移动激光雷达的单木结构参数提取精度对比[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(8):63-74

[10]　刘延彬,姜媛媛. 2D激光雷达扫描数据的异常值检测[J]. 激光与红外,2021,51(9):1 243-1 248

[11]　梁宇娴,俞晓磊,郭亚娟,等. 3种传统方法对不同珊瑚表面积测量的适用性及其校准方法:以3D扫描技术为基准[J]. 热带海洋学报,2020,39(1):85-93

[12]　李晓斌,梁祖鸿,李勇,等. 基于激光雷达三维扫描和倾斜摄影的线路空间关系检测[J]. 激光与光电子学进展,2021,58(16):512-518

[13]　刘小虎,桂凡. 基于激光雷达和机器视觉融合的无人艇目标检测[J]. 海军工程大学学报,2021,33(2):91-96

[14]　张堡瑞,肖宇峰,郑又能. 基于激光雷达与视觉融合的水面漂浮物检测[J]. 应用激光,2021,41(3):619-628

[15]　胡少雄,李洁茹,梁彦庆. 基于激光雷达测绘的土地利用变动实时监测方法[J]. 激光杂志,2020,41(5):86-90

[16]　张建功. 机载激光雷达交通异常数据采集及数据处理研究[J]. 现代雷达,2021,43(9):63-68

[17]　白莎莎,张海洋,许世东,等. 基于机载激光雷达点云的雪道坡度提取算法[J]. 应用光学,2021,42(3):481-487

[18]　孟诣卓,史文中,高利鹏,等. 高分辨率影像城市道路提取方法融合研究[J]. 地理空间信息,2020,18(4):17-21

[19]　袁钰娜,彭道黎,王成,等. 利用机载激光雷达技术估测东北林区典型针叶林的蓄积量[J]. 应用生态学报,2021,32(3):836-844

[20]　王聪,孙延青,吴张峰. 浦东新区地理信息时空云平台建设与应用思考[J]. 地理空间信息,2020,18(5):33-35